

Analýza asistenčného systému Subaru s podporou rozpoznávania chodcov využívajúceho stereovízne snímanie obrazu

Analysis of Subaru Advance Driver Assistant System for Pedestrian Detection used Stereovision

ABSTRAKT: Článok sa venuje základnému rozboru princípu fungovania stereovízneho videnia vozidla Subaru Outback a otestovaniu systému na rozpoznávanie chodcov predmetného vozidla. Stereokamera vo vozidle Subaru plní funkciu hardvérového rozhrania, ktoré vyhodnocuje kritickosť dopravnej situácie pred vozidlom a následne dáva pokyn k zásahu asistenčného systému vozidla. Systém bol otestovaný na základe navrhnutej metodiky pre testovanie asistenčných systémov vozidiel zameraných na detekciu chodcov. Z meraní vyplývajú grafy závislosti autonómneho brzdenia vozidla pred figurínou. Tieto grafy vyplývajú z meraní, kde figurína stala v jazdnom koridore vozidla alebo vykonávala pohyb do koridoru pohybu vozidla na základe reálnych dopravných scenárov. Predmetne dopravné nehody boli vybrané z databázy smrteľných nehôd ZEDATU. Analyzované merania sú porovnané s meraniami vykonanými vozidlom Volvo V40CC. Z meraní vyplynul komplexný prehľad času aktivácie varovného signálu vozidla, čas aktivácie autonómneho brzdenia a hodnota zníženia rýchlosti v mieste zrážky. Nejedná sa o priame porovnanie vozidiel, ale o vyhodnotenie zásahu a základný princíp pre pochopenia chovania systému.

KLÍČOVÁ SLOVA: aktívna bezpečnosť, asistenčné systémy, stereokamera, ADAS, rozpoznávanie chodcov, eyesight, city safety

ABSTRACT: The article deals with the analysis of the basic principle of operation of stereovision vision of Subaru Outback and test the system to pedestrians recognize. A stereovision in a Subaru vehicle acts as a hardware interface to evaluate the criticality of the traffic situation ahead of the vehicle and then instructs the intervention of an vehicle assistance. The system was tested under the proposed methodology for testing vehicle assistance systems designed to detect pedestrians. From the measurement result graphs of autonomous braking of the vehicle in front of figurine. These graphs show measurements of where the dummy was standing in car corridor or figurine movements was made to the corridor of vehicles on the basis of realistic traffic scenarios. Traffic accidents were selected from fatal pedestrian accidents database – ZEDATU. The analyzed measurements are compared with measurements made with a Volvo V40CC. Resulted from the measurement time a comprehensive overview of activation of the warning signal of vehicle, time of activation of the autonomous braking and speed reduction in collision spot. This is not a direct comparison of vehicles, but the evaluation of the intervention and the basic principle for understanding the behavior of the system.

KEYWORDS: active safety, advanced driver assistance systems, stereo camera, pedestrian detection, eyesight, city safety

1. ÚVOD

Článok je určený v prvom rade pre znalcov z odboru doprava cestná, odvetvie technická analýza dopravných nehôd. Vozidiel s autonómnym brzdením pred prekážkou (chodcom) jazdí po cestách Európy a sveta čoraz viac. Ako ukazujú prvé testy, vykonané pre forenzné účely, chovanie sa vozidla v prednehodovom deji je iné, ako keby ho viedol len vodič. Automobilky nezverejňujú údaje o takých údajoch, ako sú napr. nábeh brzdného účinku, priebeh spomalenia, reakcia systému na zásah vodiča a pod. Merania, zverejnené v tomto článku vyplňajú medzeru v týchto informáciách. Je zrejmé, že dopravnú nehodu, pri ktorej došlo k autonómnemu brzdneniu, nie je možné bez najnovších poznatkov dostatočne presne vyriešiť. To môže viesť aj k nesprávnym rozhodnutiam súdov

a ostatných orgánov verejnej moci a to nie len pri rozhodovaní o vine a nevine, ale aj v zdĺhavých sporoch o náhradu škody. Zverejnené údaje je potrebné brať ako vôbec jedny z prvých pre forenzné využitie a majú pomôcť orientovať sa znalcom, právnikom, sudcom, policajtom, ale aj študentom a žiadateľom o znaleckú činnosť. Zverejnená práca je jedna z prvých v tejto oblasti a je určite len začiatkom celého zložitého procesu postupného zavádzania autonómnej jazdy a s tým súvisiacich technických a právnych problémov. Článok bol publikovaný na EVU 2016.

Asistenčné systémy zamerané na aktívnu bezpečnosť chodcov využívajú k vyhodnocovaniu dopravnej situácie hardvérové vybavenie zložené z jedného, alebo viacerých členov. Medzi základne prvky hardvérovej výbavy vozidla patrí radar, lidar, mono alebo stereo kamera. Článok sa venuje štúdiu asistenčného systému

Dodáno autory do redakcie 14. 10. 2016. • Recenzní řízení od 14. 10. do 23. 11. 2016.

Ing. Peter Vertaľ, Ph.D., Ústav znaleckého výskumu a vzdelávania Žilinskej univerzity v Žiline, Univerzitná 8215/1, Žilina, e-mail: peter.vertal@usi.sk
Ing. Tibor Kubjatko, PhD., Ústav znaleckého výskumu a vzdelávania Žilinskej univerzity v Žiline, Univerzitná 8215/1, Žilina, e-mail: tibor.kubjatko@usi.sk
Prof. Ing. Gustáv Kasanický, CSc., Ústav súdneho inžinierstva Žilinskej univerzity v Žiline, Ul. 1.mája 32, Žilina, e-mail: gustav.kasanicky@usi.sk

Eyesight od spoločnosti Subaru a porovnáva ho s výsledkami štúdie vozidla Volvo V40CC [1]. Základný rozdiel medzi vozidlami Subaru a Volvo je v hardvérovej zostave asistenčného systému. Subaru používa pre rozpoznávanie chodcov systém zložený len zo stereokamery. Volvo používa na detekciu chodcov systém založený na mono kamere + lidar + radar.

Pre otestovanie systémov bolo použitých 18 reálnych smrteľných dopravných nehôd s chodcami. Nehody sa odohrali v mestskej premávke a k zrážke došlo s prednou časťou vozidla. Nehody boli vyextrahované z Rakúskej národnej databázy ZEDATU. Pred samotným testovaním systémov boli prípadové štúdie analyzované, aby bola získaná detailná simulácia priebehu predmetných dopravných nehôd. Simulácie dopravných nehôd boli vykonané pomocou programu PC-Crash 10.0 s využitím modelu multibody a mesh modelu vozidla. Na základe týchto simulácií bolo vykonané testovanie asistenčných systémov vozidiel Subaru Outback (modelový rok 2016) a vyhodnotené s meraniami s vozidlom Volvo V40CC [1]. Pohyb figuríny [2] pri testovaní bol zabezpečovaný pomocou UFA (autonómna testovacia plošina) od spoločnosti DSD. UFO bolo navrhnuté práve na experimentálne testovanie ADAS systémov. Pohyb UFA je možné precízne synchronizovať s pohybom vozidla pomocou diferenciálnej GPS.

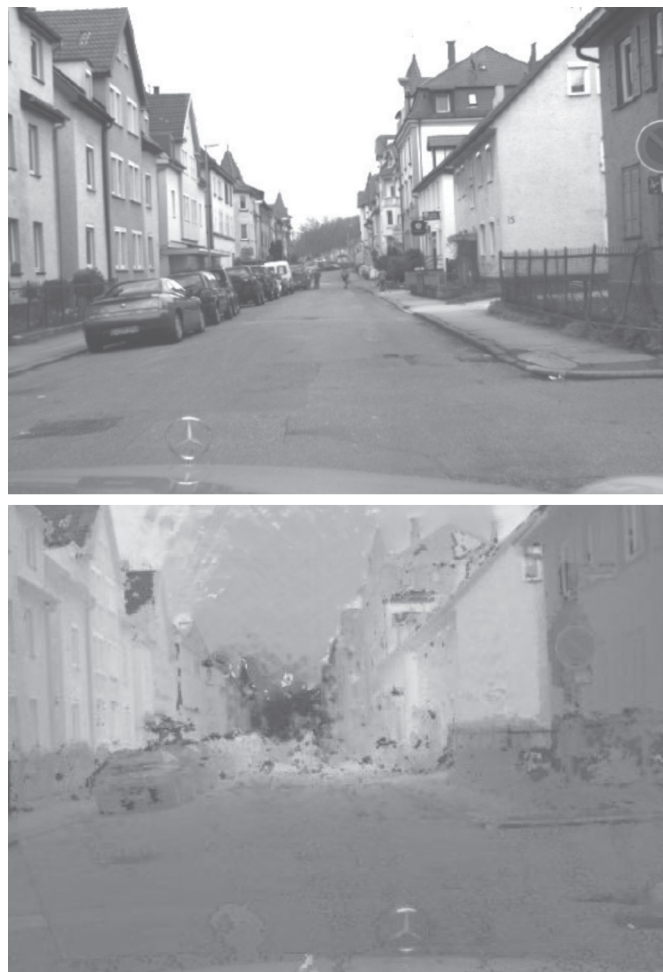
2. STEREO KAMERA

Kamera, lidar a radar montované v osobných motorových vozidlách boli vyvinuté za účelom zvýšenia bezpečnosti a zníženia rizík spojených s cestnou premávkou. Už v roku 2003 predstavila spoločnosť Subaru prvý komerčný systém stereokamery s radarom na udržiavanie bezpečného odstupu vozidla pri použití adaptívneho tempomatu – ACC (Adaptive Control Cruiser). [7]

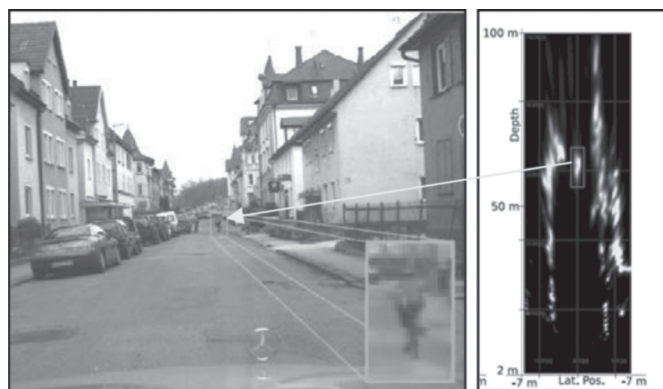
Silnou stránkou novodobých systémov zahrňujúcich stereokamery je, že riadiaca jednotka dokáže zo zaznamenaného obrazu detekovať trojdimenzionálnu štruktúru okolitej scény, tvar, veľkosť, rýchlosť a smer pohybu objektu s veľkou presnosťou. Základným princípom stereovíznej zhody je triangulácia. Vzdialenosť objektu je získavaná porovnávacou metódou. Keď je objekt v rovnakom čase snímaný dvoma kamerami z rozdielnej pozície, objaví sa v snímkach na rozdielnych miestach. To znamená, že čím väčší je rozdiel na snímkach, tým menšia je vzdialenosť objektu od kamery. Obr. 1 znázorňuje vyhodnotenú situáciu v bežnej mestskej premávke. Červená farba popredia obrázku zobrazuje objekty blízke, zelená najvzdialenejšie. [3]

Následným spracovaním obrazu je možné previesť 3D formát obrazu do 2D karteziánskej sústavy. Z obrázku nižšie (obr. 2) je zrejmé, že v koridore vozidla sa nachádza objekt – cyklista a po jeho ľavej strane osoba stojaca pri vozidle. Počiatok súradnicových sústav je umiestnený do stredu prednej časti vozidla. Neistota stereovízneho merania hĺbky obrazu rastie kvadraticky a z tohto dôvodu je poloha cyklisty v súradnicovom systéme značne rozmazaná.

V zobrazenom príklade na obr. 2 sa jedná o objekt celý viditeľný a tým jednoduchší na vyhodnotenie. Keďže mestská premávka predstavuje ďaleko väčšie riziká a objekty nie sú statické, musí sa systém na detekciu prekážok vysporiadať aj s pohybom objektov spoza prekážok. Systém by mal presne vyhodnotiť trajektóriu a dynamiku pohybujúceho sa objektu a predvídať potenciálnu

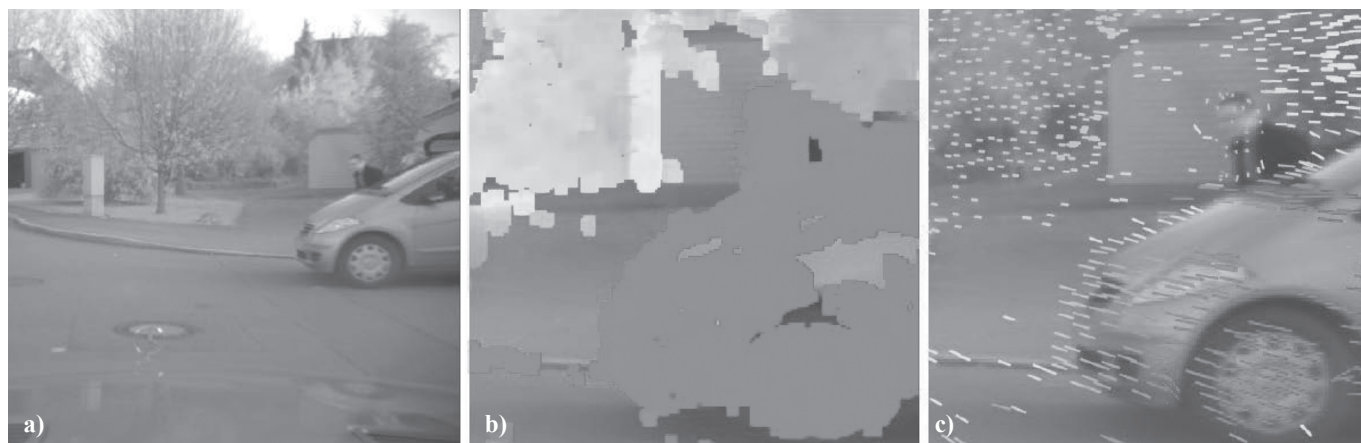


Obr. 1 a – oblasť záberu kamery; b – dole: farebné spektrum vzdialenosti objektov pred vozidlom. [3] (Viz farebná fotografia na obálke).
Figure 1 a – up: the area of the camera image; b – down: colour spectrum of the distance of objects in front of the vehicle. [3]



Obr. 2 Prevod obrazu do karteziánskeho súradnicového systému. [3]
Figure 2 Image transfer into Cartesian co-ordinate system. [3]

zrážku. Takáto dopravná situácia je znázornená na obr. 3. Bežiaci chodec sa objaví za vozidlom, ktoré je v pohybe. Chodec sa snaží prebehnúť cez cestu. Obrázok zobrazuje grafickú mapu vzdialenosti objektov od vozidla. Farebná škála je definovaná od červenej (najbližší objekt) po zelenú (najvzdialenejší objekt) obr. 3b. Rozpoznanie chodca nie je jednoznačné a v druhom stupni vyhodnocovania chodec splyva s vozidlom. Na obr. 3c je vidieť



Obr. 3 Grafická mapa vzdialenosti objektov od vozidla. Farebná škála je definovaná od červenej (najbližší objekt) po zelenú (najvzdialenejší objekt). [3]
(Viz farebná fotografia na obálke).

Figure 3 Graphical map of distance between the objects and the vehicle. Colour range is defined from red (the nearest object) to green (the furthest object). [3]



Obr. 4 Príklad trakovania pohybu chodca pomocou stereokamery. [3]
Figure 4 Example of tracking pedestrian's movement by stereo camera. [3]

následný výstup algoritmu, kde je k jednotlivým priestorovým bodom zobrazený jednoduchý vektor. Z obrázka už je chodec lepšie rozpoznateľný, ale pre bezpečné vyhodnotenie to stále nie je dostatočné.

Tretím a posledným krokom pri vyhodnotení takejto dopravnej situácie je algoritmus, ktorý je zameraný na segregáciu objektov v priestore a ich následne sledovanie. Algoritmus pracuje s po sebe idúcimi snímkami a vyhodnocuje možnú segregáciu objektov a ich pohyb. Na obr. 4 je zobrazený výsledok tohto algoritmu. Zľava doprava je možné vidieť znázornenie činnosti dynamickej detekcie systému od prvého možného rozpoznania chodca v obraze v čase 0 a následných časových odstupoch 80, 160 a 240 ms. Z analýzy obrazu následne vyplynuli odhadované vektory odpovedajú predpokladanému smeru a rýchlosti pohybu chodca v priestore.

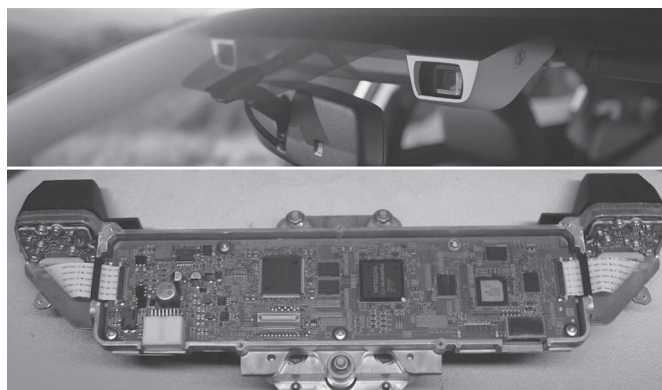
3. SUBARU EYESIGHT

Subaru vo svojich modeloch používa pre systém aktívnej bezpečnosti názov EyeSight. K meraniam aktivačných podmienok pre potreby tejto štúdie slúžilo vozidlo Subaru Outback so systémom EyeSight modelový rok 2016. Z technických podkladov od výrobcu je možné zistiť orientačne technické špecifiká systému. Pohľad na stereokameru v oblasti celého skla je na obr. 5.

Základný informačný výčet vlastností systému [5]:

- systém rozpoznáva chodcov vysokých od cca 1 m do 2 m,
- systém rozpozná chodca ak je zreteľný obrys hlavy a pliec,

- systém ťažko rozpozná skupinu ľudí, chodca s oblečením podobnej farby ako pozadie, chodca v noci, chodca s dáždnikom,
- záber stereokamery je cca 35° horizontálne a cca 9° vertikálne,
- rozpoznanie objektu po jeho vyobrazení v zornom poli kamery trvá cca 1–2 s,
- ak systém aktivuje núdzové brzdenie trikrát po dobu behu motora dôjde automaticky k vypnutiu funkcie EyeSight,
- v noci je viditeľná len oblasť osvetlená svetlomietmi,
- vozidlo vie zastaviť pred chodcom do rýchlosti 50 km/h,
- protikolízny systém funguje do rýchlosti 160 km/h.



Obr. 5 Pohľad na EyeSight systém od Subaru-hore [4]. Rozobratá kamera – dole [6].

Figure 5 View of the Subaru EyeSight system [4]. Disassembly camera [6].

3.1 Príklady zhoršených situácií pri rozpoznávaní objektov systémom EyeSight

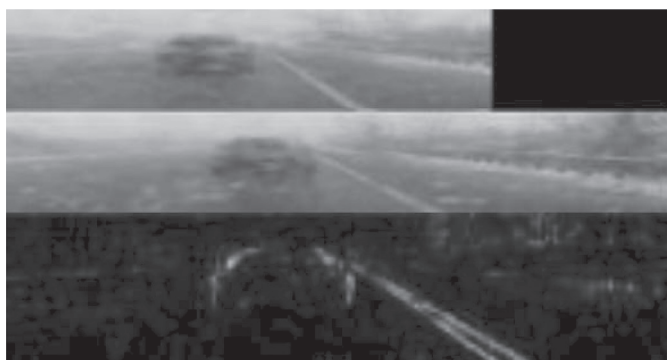
Systém EyeSight funguje na princípe snímania obrazu. Z toho vyplýva, že čím horšie podmienky na snímanie obrazu sú vytvorené, tým horšie je samotné vyhodnotenie dopravnej situácie. Nasledujúci sled obrázkov vykresľuje dopravné situácie a možné zhoršené podmienky pri ich vyhodnocovaní. Väčšina obrázkov sa skladá z troch častí. Vo vrchnej časti je záber ľavej kamery, v strednej časti je záber pravej kamery a v dolnej časti je vyobrazená vyhodnotená situácia systémom EyeSight prevedená do farebnej škály.



Obr. 6 Bežné podmienky. [5] (Viz farebná fotografia na obálke).
Figure 6 Normal conditions. [5]



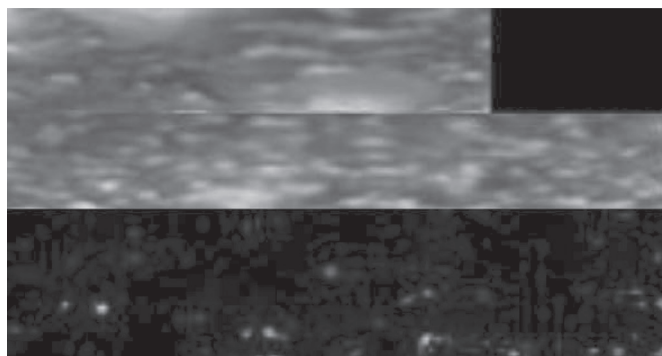
Obr. 7 Prachové častice na skle. [5] (Viz farebná fotografia na obálke).
Figure 7 Dust particles on the windscreen. [5]



Obr. 8 Hustý dážď. [5] (Viz farebná fotografia na obálke).
Figure 8 Heavy rain. [5]



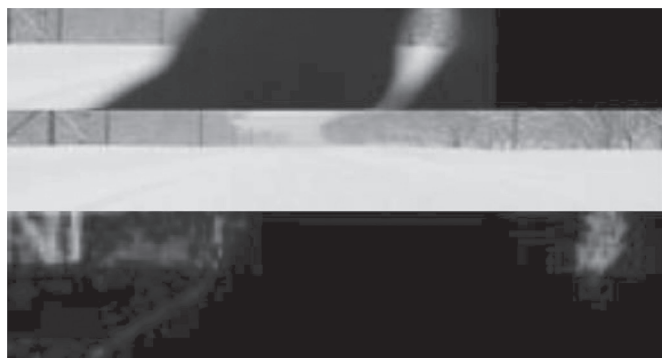
Obr. 9 Hustá hmla. [5] (Viz barevné foto na obálke).
Figure 9 Heavy fog. [5]



Obr. 10 Zamrznuté čelné sklo. [5]
Figure 10 Frozen front windscreen. [5]



Obr. 11 Husté sneženie. [5]
Figure 11 Heavy snowfall. [5]



Obr. 12 Zakrytý výhľad ľavej kamery. [5] (Viz farebná fotografia na obálke).
Figure 12 Covered left camera view. [5]

4. METÓDA VYHODNOTENIA EXPERIMENTÁLNEHO RIEŠENIA DOPRAVNÝCH NEHÔD S CHODCAMI PRE VOZIDLÁ OSADENÉ AKTÍVNÝM BEZPEČNOSTNÝM SYSTÉMOM NA ROZPOZNÁVANIE CHODCOV

Pri riešení dopravnej nehody vozidla (s aktívnym bezpečnostným systémom na rozpoznanie chodca) s chodcom bude musieť forenzný expert spravidla predmetnú situáciu presne namodelovať v simulačnom programe a následne overiť funkciu systému na základe vyšetrovacieho pokusu. Navrhovaný metodický postup vyhodnotenia priebehu dopravnej nehody chodca s vozidlom osadeným aktívnym bezpečnostným systémom:

- Z technického manuálu zistiť, či aktívny bezpečnostný systém vozidla vie rozpoznávať chodcov a autonómne reagovať na kolíznú situáciu.
- Pokiaľ je to možné, vyhodnotiť záznamy z riadiacich jednotiek vozidla a zistiť, či bezpečnostný systém na rozpoznávanie chodcov mohol v čase nehody byť aktívny.
- Štandardným spôsobom vykonať časovo-priestorovú analýzu zrážky a pohybu vozidla, a chodca do konečných polôh.
- Zistiť, či aktívny bezpečnostný systém vozidla rozpoznáva chodcov pomocou kombinácie radaru a kamery (kamier) alebo len na základe stereokamery.
- Ak systém rozpoznáva chodcov kombináciou radar + kamera, je potrebné zabezpečiť figurínu chodca, ktorá zodpovedá svojimi fyzikálnymi vlastnosťami reflexným vlastnostiam človeka pre predmetný radar detekujúci chodcov pred vozidlom.
- Ak systém rozpozná chodca len na základe stereokamery, postačí figurína, ktorá zodpovedá svojim tvarom človeku.
- Zabezpečiť na výkon experimentu systém na simuláciu pohybu chodca (figuríny), ktorý neovplyvňuje svojím technickým prevedením falošnú aktiváciu aktívneho bezpečnostného systému vozidla.
- Osadiť vozidlo kamerovým systémom a technikou na záznam dynamických veličín pohybu vozidla pre spätné vyhodnotenie priebehu experimentu a aktivácie systému.
- Rozmiestniť kamerový systém v okolí simulovanej debovej línie pre spätné vyhodnotenie priebehu experimentu a aktivácie systému.
- Vytvoriť rovnomerné markery v okolí kolíznej oblasti vozidla s figurínou pre potreby spätnej analýzy pohybu sústavy.
- Vytvoriť na základe časovo priestorovej analýzy synchronizovaný dej vozidlo+figurína s využitím systému na kontrolovaný pohyb figuríny.
- Po vykonanom experimentálnom meraní je potrebná video analýza priebehu debovej línie za účelom určenia kľúčových miest aktivácie a zásahu aktívneho bezpečnostného systému do riadenia vozidla.
- Vyhodnotiť moment aktivácie alarmu vo vozidle (rýchlosť, čas a vzdialenosť vozidla od koridora pohybu chodca). Poloha chodca v čase aktivácie alarmu (čas a vzdialenosť od koridora pohybu vozidla).



Obr. 13 Použitá figurína a UFO. [6]
Figure 13 Dummy and UFO used. [6]

- Vyhodnotenie momentu aktivácie autonómneho brzdenia vo vozidle (rýchlosť, čas a vzdialenosť vozidla od koridora pohybu chodca). Poloha chodca v čase aktivácie autonómneho brzdenia (čas a vzdialenosť od koridora pohybu vozidla).

Vozidlo Subaru Outback, ktoré bolo použité pri testoch využíva na vyhodnocovanie dopravnej situácie len systém stereokamier bez radaru. Ako vyplýva z navrhnutého metodického postupu, pri predmetných pokusoch nebolo nutné použiť figurínu, certifikovanú na testovanie ADAS systémov. Samotný postup certifikácie figuríny slúži najmä pre potreby správnych fyzikálnych vlastností povrchu figuríny pre schopnosť odrážať radarové vlny. Pre potreby meraní s vozidlom Subaru slúžila figurína vyobrazená na obr. 13 umiestnená na pohyblivej testovacej platforme UFO – Ultra flat overrunable platform spoločnosti DSD Dr. Steffan Datentechnik. UFO umožňovalo plne synchronizovaný priebeh meraní s vozidlom na základe dát získaných z rekonštrukcie pohybu s využitím D_GPS lokalizácie vozidla.

4.1 Výber reálnych smrteľných dopravných nehôd osobného motorového vozidla s chodcom

Na komplexné otestovanie aktívneho bezpečnostného systému na rozpoznávanie chodcov v krízových situáciách bolo vhodné pri výbere dopravných nehôd zvoliť prípady, ktoré by svojim charakterom a priebehom pohybu vozidla a chodca pokrývali čo najširšiu škálu možných situácií pri dopravných nehodách. Pre potreby štúdie bolo zvolených celkom 6 typov dopravných nehôd (pozri obr. 14, obr. 15, obr. 16).

Pri výbere reprezentatívnej vzorky dopravných nehôd bola použitá národná Rakúska databáza ZEDATU. ZEDATU je centrálna databáza dopravných nehôd zameraná hlavne na smrteľné dopravné nehody. Štruktúra databázy je postavená na základe takzvaného protokolu STAIRS – Standardisation of Accident and Injury Registration Systems. Na kompletné otestovanie aktívneho bezpečnostného systému boli zvolené nehody, aby svojim charakterom a priebehom pohybu vozidla a chodca pokrývali celú škálu situácií pri dopravných nehodách. V tab. 1 je zobrazený prehľad prípadových štúdií. Prehľad scenárov prípadových štúdií je v prílohe tohto článku.

4.2 Príklad rozboru zásahu asistenčného systému vo vozidle

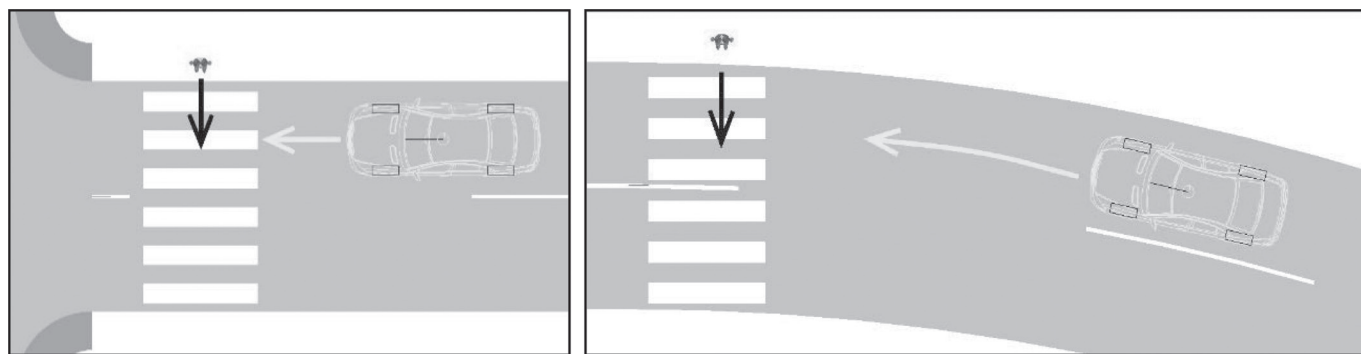
Keďže v článku nie je priestor na rozbor všetkých prípadových štúdií, budem sa v tejto kapitole venovať popisu len jedného názorného testu. Jednalo sa o vozidlo jazdiace rýchlosťou cca 48 km/h. Do koridoru vozidla vstúpil z ľavej strany chodec pohybujúci sa rýchlosťou cca 4 km/h. Synchronizácia pohybu vozidla a chodca bola na základe presnej simulácie z programu PC Crash 10.0. Vizualne zobrazenie príklad rozboru zásahu asistenčného systému vo vozidle je vyobrazené na obr. 17a–e.

Na obr. 17a je zobrazený prejazd vozidla cez svetelnú bránu v čase cca 5 s pred zrážkou s chodcom. Chodec v tomto momente ešte stojí. V momente prejazdu vozidla svetelnou bránou vyhodnocuje riadiaca jednotka UFA na základe aktuálnej rýchlosti

vozidla Volvo správny moment na štart UFA (chodca). Vozidlo sa pohybuje ďalej ustálenou rýchlosťou cca 48 km/h a v čase cca 4,3 s pred zrážkou s chodcom dochádza k rozjazdu UFA obr. 17b. Plne synchronizovaný a automatizovaný dej následne reprodukuje dejovú líniu zo skutočnej nehody.

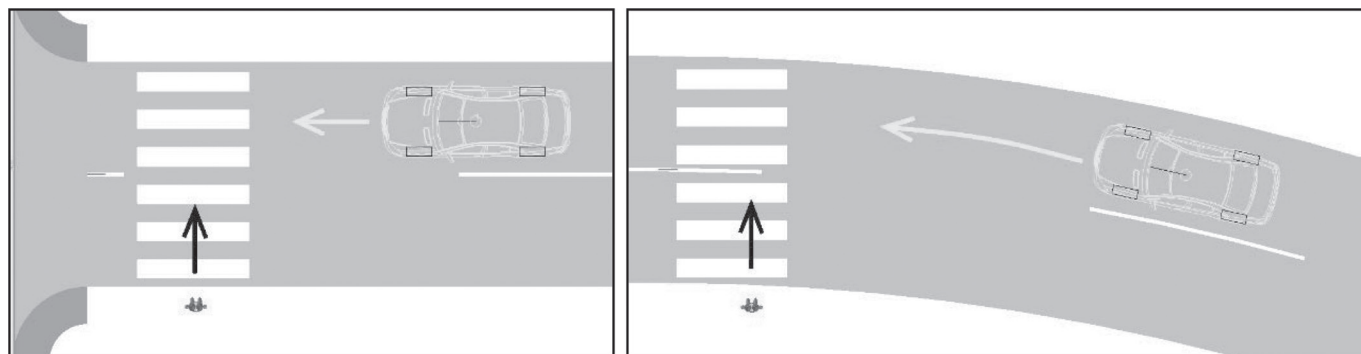
V čase cca 2 s obr. 17c dochádza k akusticko-vizuálnemu varovaniu vodiča v momente, keď sa chodec nachádza vo vzdialenosti cca 0,7 m od koridoru pohybu vozidla. Po uplynutí necelých 0,8 s dochádza k aktivácii autonómneho brzdenia vozidla obr. 17d.

Po cca 2 sekundách od prvej akustickej signalizácie dochádza k zrážke vozidla s chodcom. Rýchlosť v čase zrážky obr. 17-e bola cca 12 km/h oproti 48 km/h pri reálnej dopravnej nehode, pri ktorej vodič nestihol reagovať na chodca.



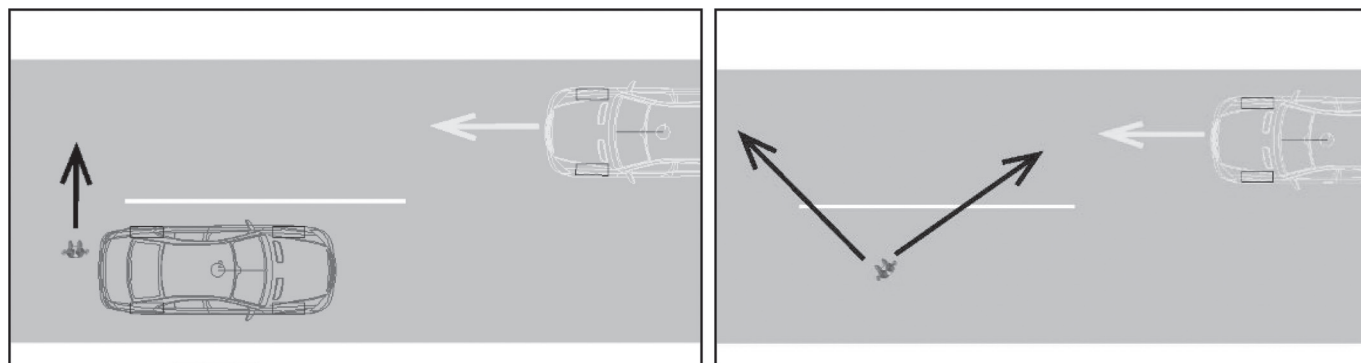
Obr. 14 Jazda vozidla v priamom smere, alebo v oblúku a vstup chodca do vozovky sprava. [6]

Figure 14 Vehicle driving in a straight line or around a curve and a pedestrian entering the road from the right. [6]



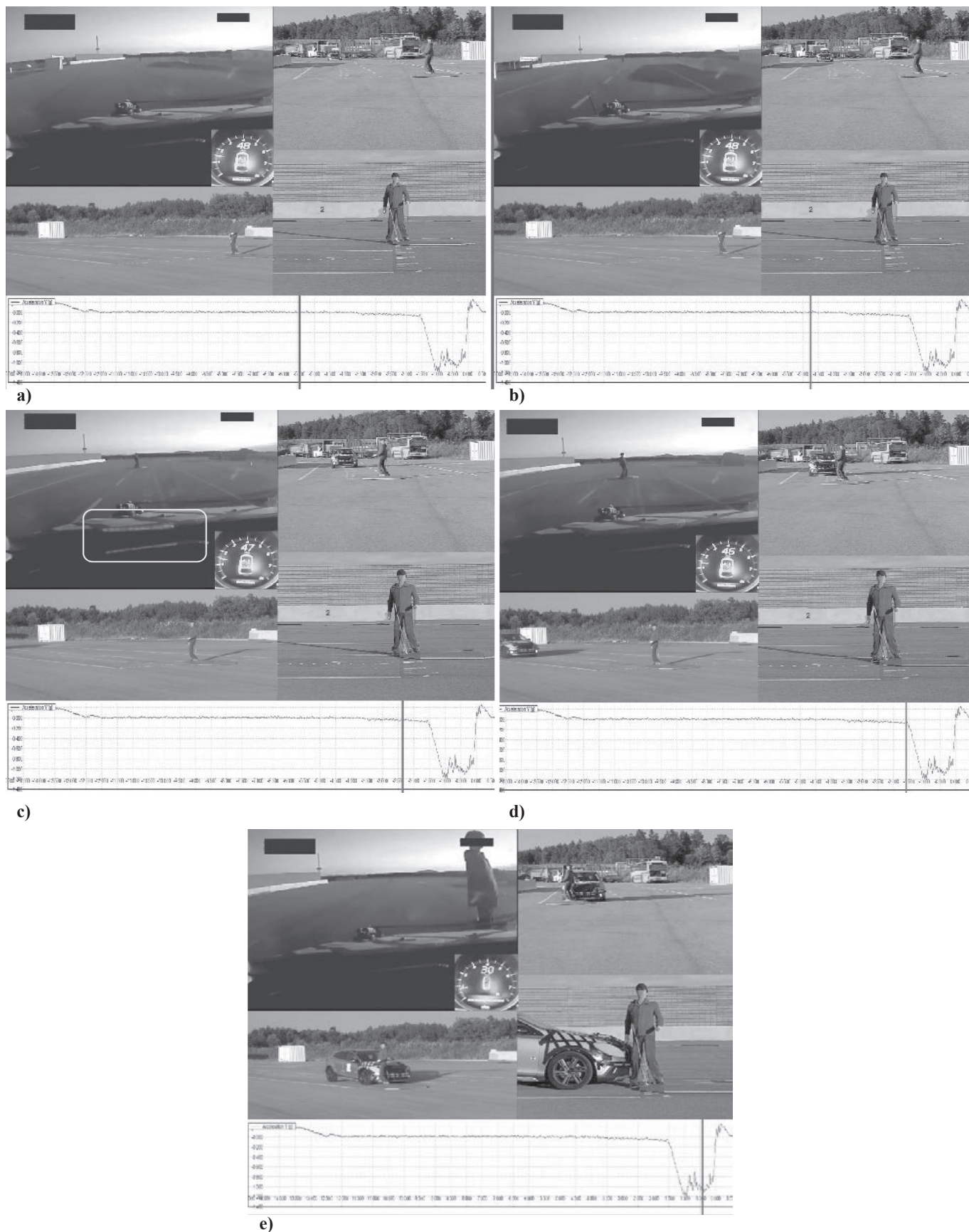
Obr. 15 Jazda vozidla v priamom smere, alebo v oblúku a vstup chodca do vozovky zľava. [6]

Figure 15 Vehicle driving in a straight line or around a curve and a pedestrian entering the road from the left. [6]



Obr. 16 Priamy smer jazdy vozidla a vstup chodca do vozovky spoza objektu, v diagonálnom smere alebo chodec stojaci na okraji vozovky. [6]

Figure 16 Vehicle driving in a straight line and a pedestrian entering the road from behind an object, diagonally or a pedestrian standing on the side of the road. [6]



Obr. 17 Priebeh simulácie nehodového deja s chodcom. a) prejazd svetelnou branou vozidlom Volvo; b) rozjazd UFA; c) aktivácia alarmu vo vozidle; d) nábeh brzdného účinku; e) vozidlo pretína rovinu pohybu chodca. [6]

Figure 17 Testing scenario of simulation of pedestrian accident. a) Volvo crossing the light gate; b) start of UFO; c) vehicle alarm activation; d) breaking; e) the vehicle crosses the plane of movement of pedestrians. [6]

Tab. 1 Prehľad prípadových štúdií.
Table 1 Overview of testing studies.

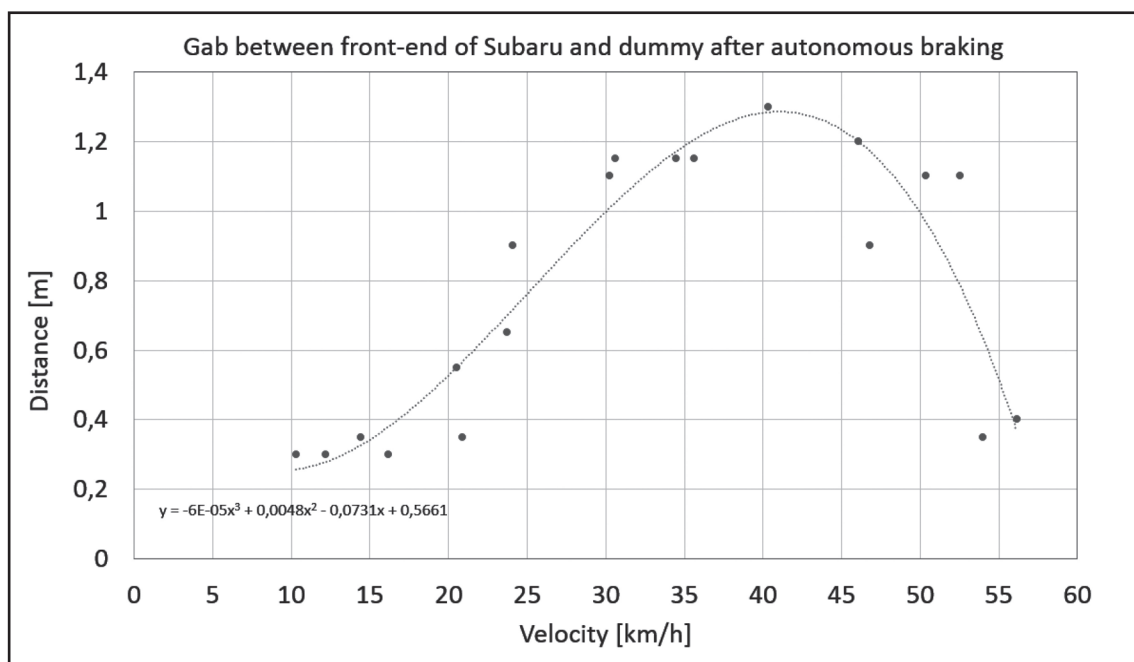
Č.	Rýchlostný limit v oblasti DN (km/h)	Značka auta	Model	Rok výroby	Nárazová rýchlosť (km/h)	Smer pohybu chodca
1	40	Opel	Astra	1999	23	→
2	50	Citroen	AX	1990	47	→
3	30	Opel	Corsa	1990	12	←
4	50	Peugeot	306	1994	50	→
5	50	Volvo	S70	1997	32	→
6	50	VW	Multivan	1989	19	←
7	50	BMW	3	1995	41	←
8	50	Honda	Civic	1990	55	→
9	50	VW	Sharan	2006	18	←
10	90	VW	70D	1993	39	–
11	50	Mitshubishi	Pajero	1992	32	←
12	50	Ford	transit	1999	36	→
13	50	Toyota	Avensis	2001	45	–
14	50	Mazda	Demio	x	42	↘
15	50	Renault	Twingo	1993	46	↘
16	50	Opel	Corsa	1991	39	→
17	50	VW	Passat	1993	30	→
18	50	VW	70D	1993	47	✓

5. VYHODNOTENIE MERANÍ AUTONÓMNEHO BRZDENIA VOZIDLA SUBARU OUTBACK

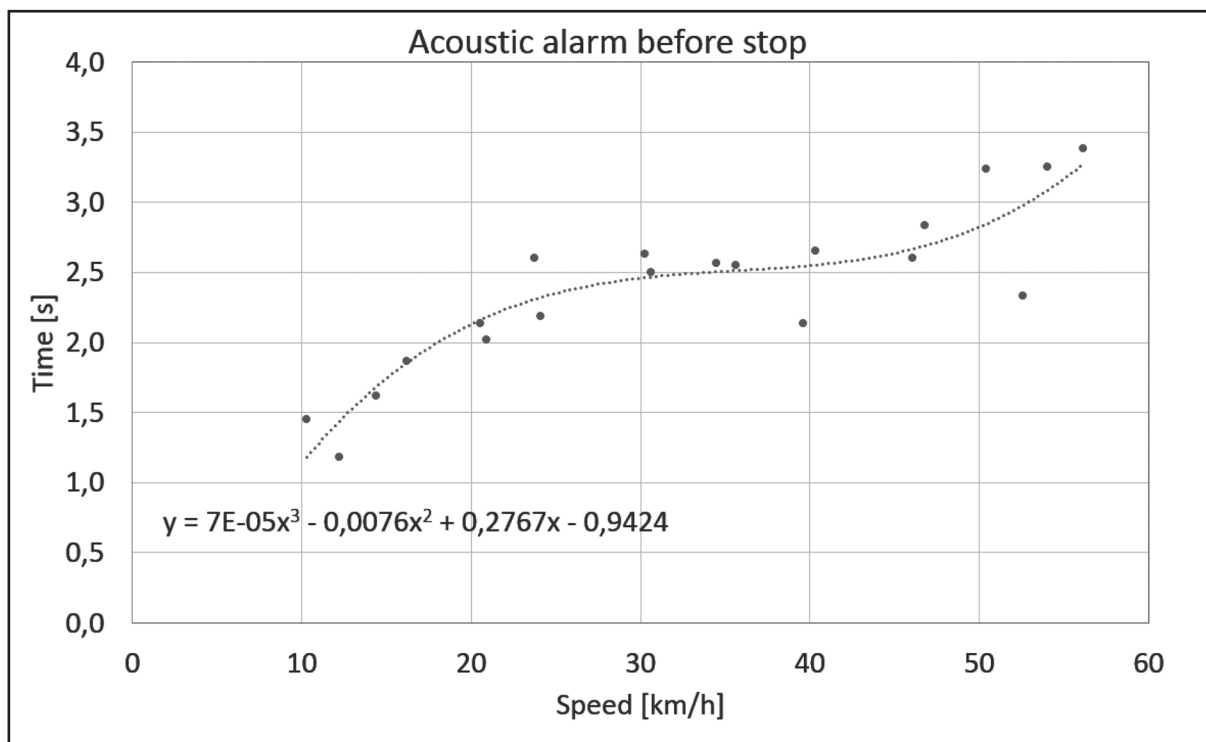
Merania aktivácie zásahu asistenčného systému vo vozidle Subaru a následného brzdenia pozostávalo v umiestnení figuríny do jazdného pruhu vozidla. Vozidlo bolo pre účely meraní osadené diferenciálnym prijímačom GPS, systémom na záznam akcelerácie a kamerovým systémom na záznam exteriérových a interiérových podmienok. Figurína stála v postavení bokom ku smeru jazdy vozidla. Konečná poloha figuríny bola centrováná na stred vozidla.

Z meraní vyplynuli následné závislosti:

Závislosť vzdialenosti prednej časti vozidla od figuríny po zastavení vozidla po autonómnom brzdení z rôznych rýchlostí je vyobrazená nižšie (obr. 18). Z grafu je zrejmé, že od rýchlosti jazdy cca 10 km/h po rýchlosť jazdy cca 40 km/h narastá vzdialenosť, ktorá ostane medzi figurínou a prednou časťou vozidla po zastavení. Vzdialenosť rastie z cca 0,3 m až na cca 1,3 m. Po dosiahnutí 40 km/h rýchlosti jazdy vozidla a následnom prekročení tejto rýchlosti jazdy dochádza k postupnému zmenšovaniu predmetnej vzdialenosti. Po prekročení rýchlosti



Obr. 18 Závislosť vzdialenosti prednej časti vozidla po zastavení od figuríny po autonómnom brzdení z rôznych rýchlostí.
Figure 18 Dependency of distance between vehicle front and dummy after stopping by means of autonomous braking from various velocities.

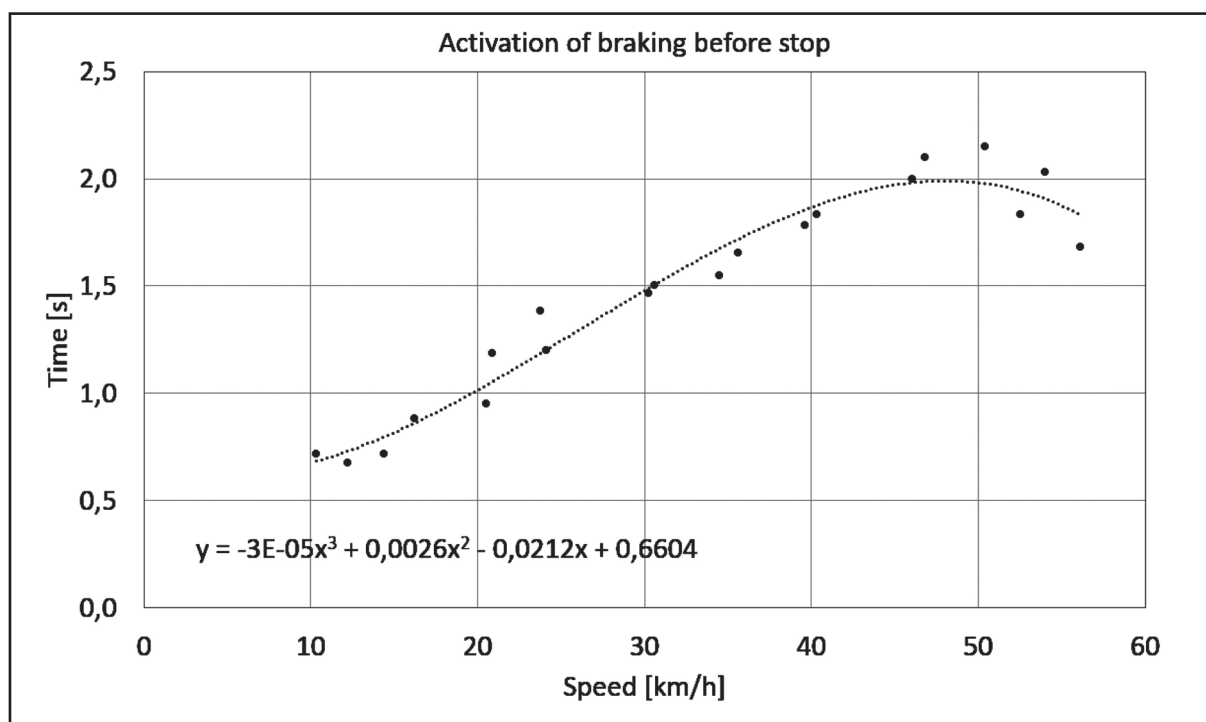


Obr. 19 Závislosť momentu aktivácie akustického varovania vodiča pred dosiahnutím koridoru chodca.
Figure 19 Dependency of the of the moment of activation of pedestrian acoustic warning for the driver.

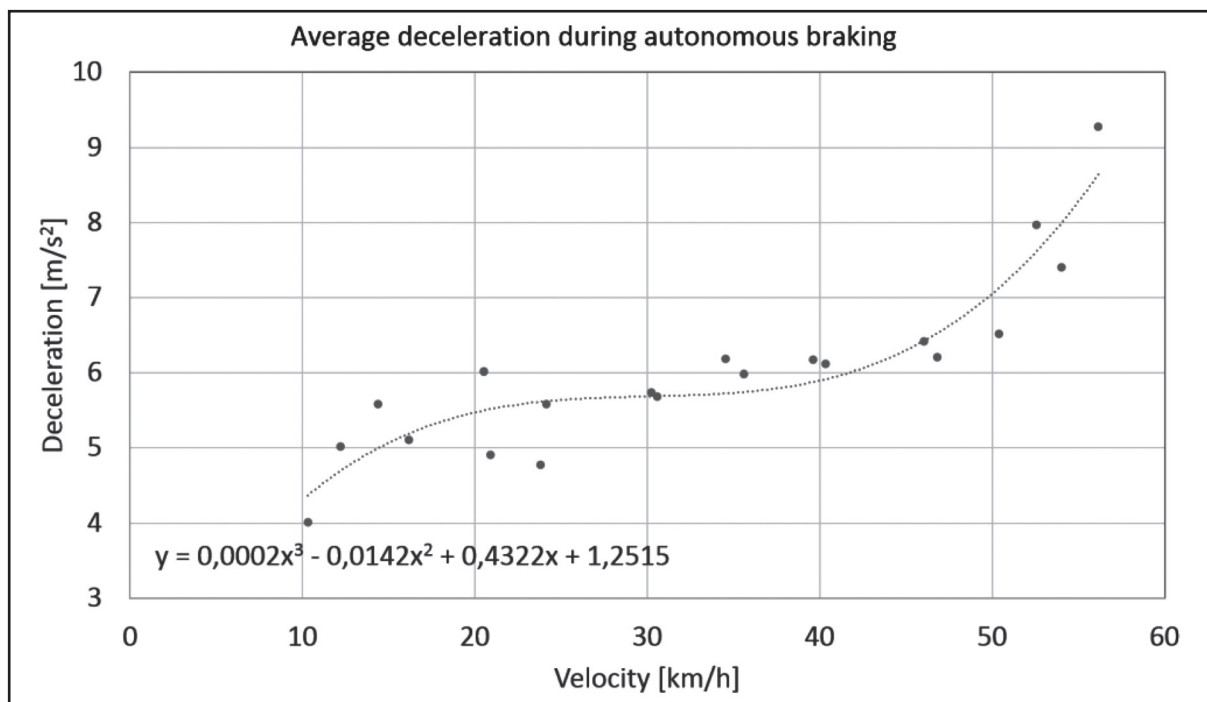
jazdy vozidla cca 55 km/h dochádza k zrážke vozidla s figurínou. Graf vychádza z meraní, kde vozidlo pri meraniach vždy zastavilo pred figurínou (100% úspešnosť zásahu systému).

Závislosť momentu aktivácie akustického varovania vodiča pred figurínou z rôznych rýchlostí je vyobrazená na grafe v obr. 19.

Z grafu je zrejmé, že od rýchlosti jazdy cca 10 km/h narastá časový interval varovania vodiča pred chodcom. Uvádzaný čas je počítaný od momentu, keď vozidlo zastavilo pred figurínou. Z grafu vyplýva, že od rýchlosti cca 15 km/h je varovanie pred figurínou stojacou v koridore vozidla viac ako cca 1,5 s. Tento časový interval by



Obr. 20 Závislosť momentu aktivácie autonómneho brzdenia pred figurínou z rôznych rýchlostí.
Figure 20 Dependency of the moment of activation of autonomous braking in front of a pedestrian from various velocities.

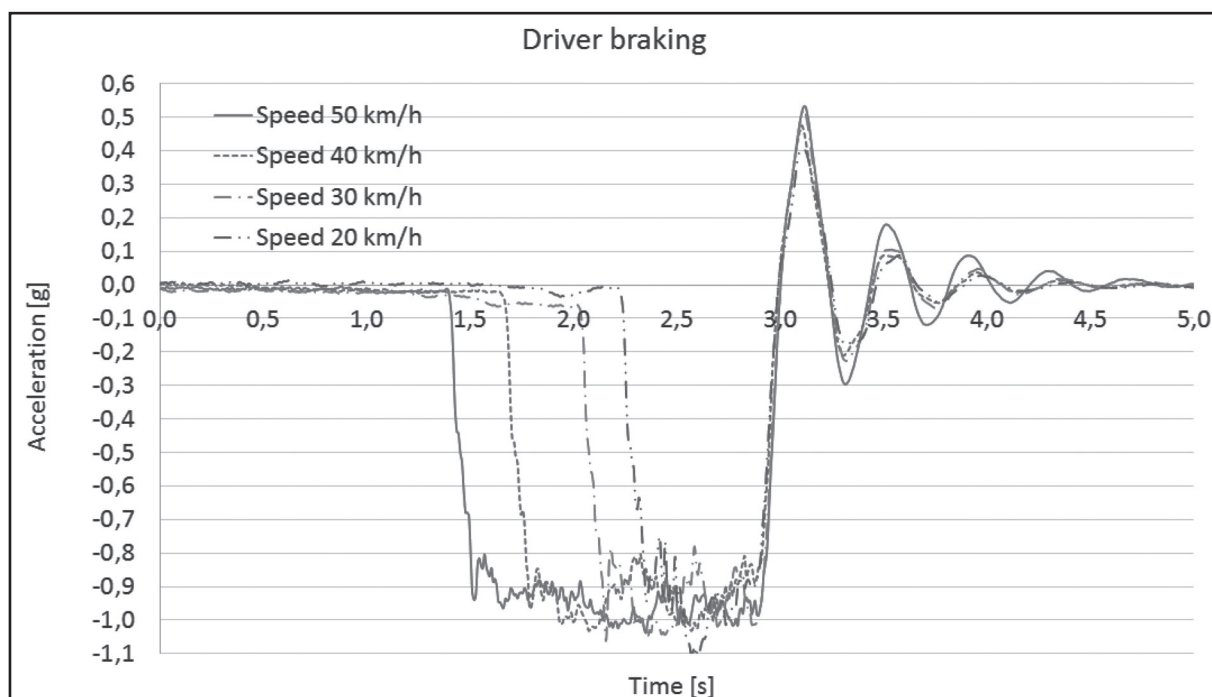


Obr. 21 Závislosť priemerného spomalenia vozidla na rýchlosti vozidla pri autonómnom brzdení.
Figure 21 Dependency of the average deceleration of the vehicle on the speed of the vehicle during autonomous braking.

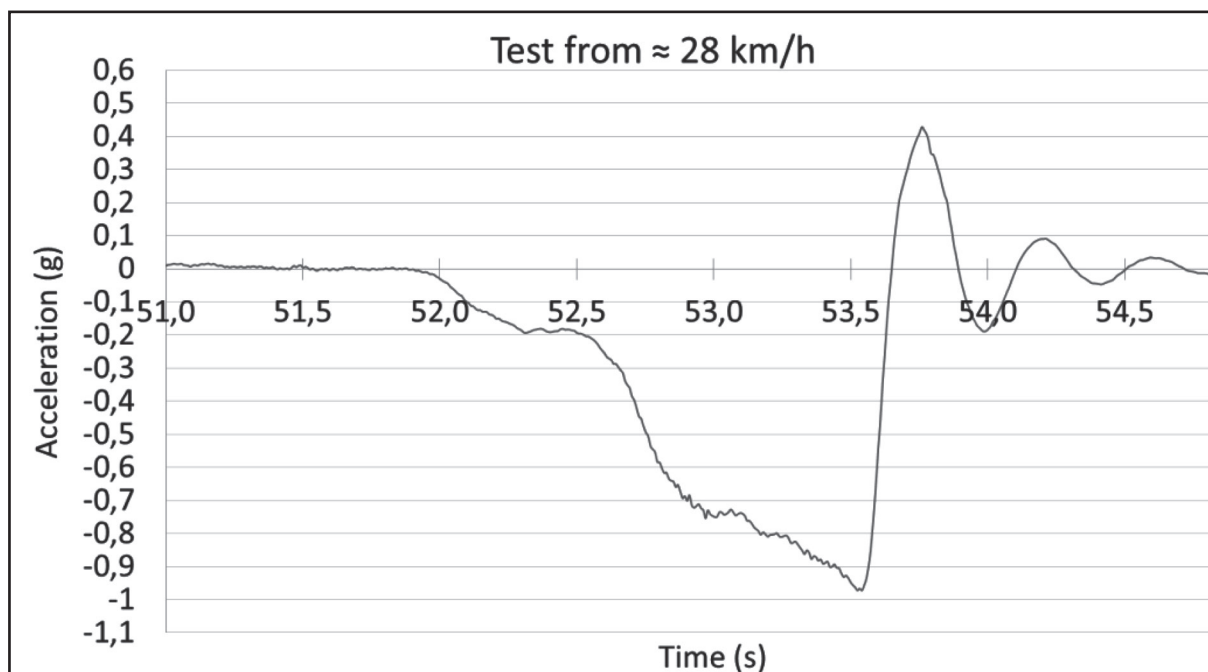
bolo možné považovať za dostačujúci na to, aby vodič reagoval na danú situáciu a následne aby mohol v prípade potreby zasiahnuť do riadenia vozidla a vyhnúť sa nožnej zrážke. Graf vychádza z meraní, kde vozidlo pri meraniach vždy zastavilo pred figurínou (100% úspešnosť zásahu systému).

Závislosť času aktivácie autonómneho brzdovania pred koridorom figurínou z rôznych rýchlostí je vyobrazená na grafe v obr. 20. Čas

uvádzaný v grafe je počítaný do momentu zastavenia vozidla pred figurínou. Z grafu je zrejmé, že od rýchlosti jazdy cca 10 km/h narastá časový interval začiatku autonómneho brzdovania pred koridorom pohybu chodca. Z grafu vyplýva, že od rýchlosti cca 30 km/h je varovanie pred chodcom v koridore vozidla viac ako cca 1,5 s. Tento časový interval by bolo možné považovať za dostačujúci, aby vodič reagoval na aktiváciu autonómneho



Obr. 22 Závislosť brzdného spomalenia vozidla Subaru pri brzdení vodičom z rýchlosti jazdy 20, 30, 40 a 50 km/h.
Figure 22 Dependency of deceleration rate of Subaru vehicle during braking initiated by the driver at various velocities – 20, 30, 40 a 50 km/h.

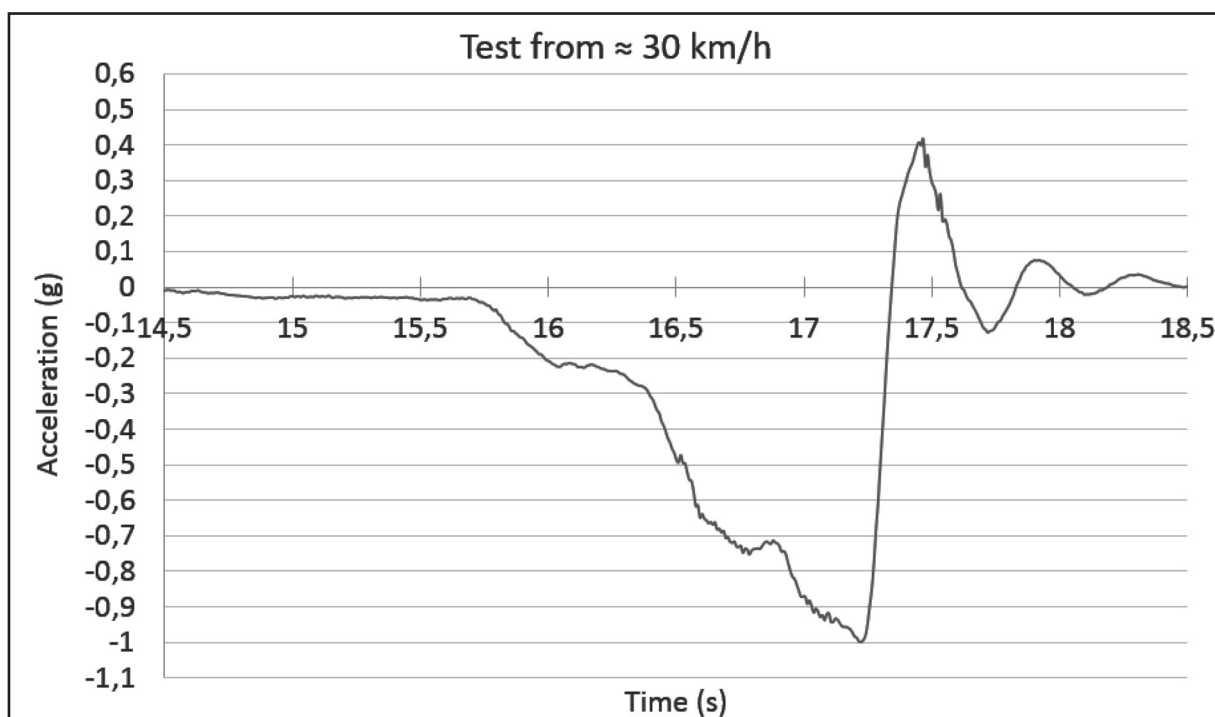


Obr. 23 Spomalenie vozidla Subaru pri autonómnom brzdení – reakcia na pohybujúcu sa figurínu.
Figure 23 Deceleration of the vehicle during autonomous braking – response to a moving dummy.

brzdenia a následne by mohol v prípade potreby zasiahnuť do riadenia vozidla a vyhnúť sa novej zrážke. Graf vychádza z meraní, kde vozidlo pri meraniach vždy zastavilo pred figurínou (100% úspešnosť zásahu systému).

Z meraní vyplynulo, že v priebehu autonómneho brzdenia dochádza aj na rovnakom povrchu vozovky k dosahovaniu rôznych

priemerných brzdných spomalení vozidla. Závislosť priemerného spomalenia vozidla na rýchlosti vozidla v čase aktivácie autonómneho brzdenia je zobrazená na grafe v obr. 21. Z grafu je možné sledovať zvyšovanie priemerného brzdného spomalenia pri autonómnom brzdení so vzrastajúcou rýchlosťou. Graf vychádza z meraní, kde vozidlo pri meraniach zastavilo vždy pred figurínou.



Obr. 24 Spomalenie vozidla Subaru pri autonómnom brzdení – reakcia na statickú figurínu.
Figure 24 Deceleration of the vehicle during autonomous braking – response to dummy standing still.

Z grafu v obr. 21 priemerného spomalenia vozidla Subaru pri autonómnom brzdení sú zrejmé rôzne priemerné hodnoty spomalenia vozidla v závislosti na rýchlosti. V grafe v obr. 22 je možné vidieť krivky spomalenia vozidla pri brzdení iniciovaným vodičom z rýchlosti 20, 30, 40 a 50 km/h. Z grafu je zrejmé, že nábeh brzdného účinku pri brzdení vodičom s vozidlom Subaru sa pohybuje na úrovni cca 0,15 s. Priemerné brzdné spomalenie vozidla Subaru pri intenzívnom brzdení sa pohybovalo na úrovni cca 9,5 m/s².

Graf v obr. 22 je možné porovnať s grafom v obr. 23 a obr. 24, ktoré zobrazujú príklad brzdného spomalenia vozidla Subaru pri autonómnom brzdení z rýchlosti cca 30 km/h (reakcia vozidla

a následne autonómne brzdenie). Z grafov je možné vidieť značnú odlišnosť priebehu spomalenia vozidla pri brzdení iniciovanom vodičom a autonómnom brzdení. Dá sa konštatovať, že nábeh brzdného účinku vozidla Subaru pri autonómnom brzdení nie je v štandardnom rozpätí do cca 0,2 s. Vozidlo vyvíja brzdný účinok postupne. Pri meraniach bolo možné sledovať, že vozidlo najprv dosiahne spomalenie cca 0,2–0,3 g, kde sa mierne stabilizuje a následne postupne prechádza na spomalenie cca 0,7–0,8 g. Pri teste dochádza pred zastavením vozidla k dosiahnutiu maximálneho brzdného spomalenia cca 0,9 g. Pri väčšine meraní, keď vozidlo jazdilo v priamom smere a systém mal dostatočný „rozhrád“ na okolie a figurínu, ktorá sa pohybovala kolmo z pravej alebo ľavej

Tab. 2 Prehľad zásahu asistenčného systému pre jednotlivé prípadové štúdie.

Table 2 Overview of the assistance system intervention for individual studies.

Štúdia č.	Prekážka v pohľade vodiča	Smer pohybu vozidla	Rýchlosť jazdy vozidla pri nehode [km/h]	Aktivácia alarmu		Čas aktivácie alarmu pred koridorom pohybu chodca ≈ [s]	Čas aktivácie brzd pred koridorom pohybu chodca ≈ [s]	Pokles rýchlosti vozidla po oblasti koridoru pohybu chodca ≈ [%]
1	áno	priamo	23	Volvo	nie	–	–	0
				Subaru	nie	–	–	0
2		priamo	47	Volvo	áno	2,0	1,5	74
				Subaru	áno	2,2	2,0	100
3		v oblúku Ľ	12	Volvo	áno	1,0	0,8	100
				Subaru	áno	0,8	0,6	100
4	áno	priamo	50	Volvo	áno	1,7	0,9	48
				Subaru	áno	2,2	1,8	100
5		priamo	32	Volvo	áno	1,5	–	0
				Subaru	áno	1,5	1,4	100
6		priamo	19	Volvo	áno	0,5	0,3	0
				Subaru	áno	1,8	1,5	100
7		v oblúku Ľ	41	Volvo	áno	1,6	1,2	59
				Subaru	áno	0,9	–	0
8	áno	predbiehanie	55	Volvo	nie	–	0,2	0
				Subaru	áno	0,8	0,6	35
9		v oblúku P	18	Volvo	nie	–	–	0
				Subaru	nie	–	–	0
10		priamo	39	Volvo	áno	1,9	1,3	64
				Subaru	áno	2,5	1,6	100
11		priamo	32	Volvo	áno	1,5	0,9	34
				Subaru	áno	1,8	1,4	100
12		v oblúku Ľ	36	Volvo	nie	–	–	0
				Subaru	nie	–	–	0
13		priamo	45	Volvo	nie	–	–	0
				Subaru	nie	–	–	0
14		priamo	42	Volvo	áno	1,1	1,0	57
				Subaru	áno	2,8	1,5	100
15		priamo	46	Volvo	nie	–	–	0
				Subaru	áno	2,2	1,8	100
16		priamo	39	Volvo	áno	0,6	–	0
				Subaru	nie	–	–	0
17	áno	priamo	30	Volvo	nie	–	–	0
				Subaru	áno	1,8	1,4	100
18		priamo	47	Volvo	áno	1,5	1,2	30
				Subaru	áno	0,2	–	0

strany, dochádzalo skoro stále k podobnému priebehu brzdného spomalenia a následného zastavenia vozidla pred figurínou do rýchlosti jazdy cca 45 km/h. Pri meraniach s vozidlom Volvo bol priebeh brzdného účinku graficky podobný s nábehom brzdného účinku pri brzdení vodičom. Treba však podotknúť, že dĺžka nábehu brzdného účinku vozidla Volvo pri autonómnom brzdení bola cca 0,4–0,5 s. Príklad nábehu brzdného účinku vozidla Volvo je zobrazený na obr. 17.

6. ZÁVER

Porovnanie zásahu asistenčných systémov pri navodení scenárov z prípadových štúdií 1–18 je zobrazené v tabuľke nižšie (tab. 2). Tabuľka podáva ucelený prehľad zásahu asistenčného systému pre jednotlivé štúdie. V tabuľke detailne popisuje čas aktivácie alarmu pred koridorom pohybu chodca a čas aktivácie autonómneho brzdovania pred koridorom pohybu chodca. Najdôležitejším ukazovateľom je však pokles rýchlosti vozidla po oblasť koridoru pohybu chodca. Ak chceme dosiahnuť maximálnu bezpečnosť chodcov je dôležité, aby vozidlo pri zásahu asistenčného systému do riadenia zastavilo pred koridorom pohybu chodca. Z prehľadu v tab. 1 vyplýva, že niekedy stačí aj zrážka vozidla s chodcom pri rýchlosti 12 km/h a dôjde k smrteľnému zraneniu. A práve pri vekovej kategórii ľudí vyššej ako 60 rokov je toto riziko veľmi vysoké.

Ucelený komplexný prehľad porovnání meraní vozidla Volvo a Subaru je v tab. 3. Merania s vozidlom Volvo a Subaru prebiehali na suchom povrchu, v čase keď nepršalo, nebola hmla a nesnežilo. Z meraní je zrejmé, že vozidlo Subaru Outback si dokáže v rôznorodých mestských podmienkach poradiť len s pomocou stereokamery s nástrahami spojenými s chodcami, ktoré sú bežné v mestskej premávke. Vozidlo Subaru dokázalo v prípadových štúdiách zastaviť pred koridorom chodca až do rýchlosti 50 km/h. Ak už vozidlo zareagovalo na chodca, tak s pravdepodobnosťou cca 92% aj začne autonómne brzdiť a zastaví pred koridorom pohybu chodca. Varovanie vodiča siahlo až k hodnote 2,8 s pred možným miestom kolízie. Tento vysoký časový interval dáva priestor na pomalý a plynulý nárast brzdného spomalenia, čím sa zlepšujú podmienky pre vodičov vozidiel jazdiacich za vozidlom Subaru, aby mohli reagovať na danú situáciu. U vozidla Volvo je aktivácia brzdného účinku spojená s nábehom do hodnoty 0,5 s a následným dosiahnutím maximálnej hodnoty spomalenia. Je preto možné považovať reakcie systému Volvo za neskoršiu ako u vozidla Subaru. S neskoršou reakciou vytvorí vozidlo Volvo aj menšiu časovú rezervu pre chodca, alebo vozidla jazdiace za kolidujúcim vozidlom. Až v deviatich prípadových štúdiách bol časový interval varovania vodiča vo vozidle Subaru väčší ako jedna sekunda a siahla až k trom sekundám. Je otázkou ďalšieho výskumu, aký dlhý interval potrebuje nesústredený

Tab. 3 Vyhodnotenie systémov Subaru a Volvo.
Table 3 Evaluation of Subaru and Volvo system.

Popis	Volvo	Subaru
Výskyt akustického varovania	62%	72%
Čas aktivácie alarmu pred koridorom pohybu chodca		
interval 0–1 s	2 prípady	4 prípady
interval 1–2 s	8 prípadov	4 prípady
interval viac ako 2s	1 prípad	5 prípadov
Aktivácia autonómneho brzdovania po akustickom varovaní	85%	85%
Časovaný interval aktivácie autonómneho brzdovania po akustickom varovaní	0,1–0,8 s	0,2–0,9 s
Nábeh brzdného účinku	0,4–0,5s	n/a
Autonómne zastavenie vozidla pred koridorom pohybu chodca (zastavenie vozidla z celkového počtu prípadových štúdií)	1 z 18	10 z 18
Maximálne autonómne zníženie rýchlosti vozidla pred zrážkou s chodcom	30 km/h	50 km/h
Systém nevaruje na osoby nižšie ako	≈ 80 cm	≈ 100 cm
Varovanie systému na figurínu v tme	nie	obmedzene dosvitom svetiel
Varovanie systému na chodca v reflexnej veste a bez	áno	áno
Zásah systému pri oslnení kamery – pozícia slnka nízko nad horizontom	áno	áno
Varovanie na figurínu, ktorá stojí v koridore pohybu vozidla	áno	áno
Varovanie na figurínu, ktorá sa pohybuje kolmo k pohybu vozidla	áno	áno
Varovanie na figurínu, ktorá sa pohybuje šikmo pod uhlom max 60st ku smeru pobytu vozidla	áno	áno
Varovanie na pohyb figuríny zprava, pri jazde pravotočivou zákrutou	nie	nie
Varovanie na pohyb figuríny zľava, pri jazde ľavotočivou zákrutou	nie	nie
Systém varuje chodca pred možnou zrážkou	nie	nie
Možnosť vyčítať CDR	nie	nie

vodič na to, aby reagoval na akustický signál bezpečnostného systému a zasiahol do riadenia. Z technického hľadiska by pri varovania chodca v momente keď dôjde k varovaniu vodiča došlo k pozitívnemu prínosu. Ak by mal nesústreďený chodec informáciu o blížiaci sa kolízii až 2,5 s pred možnou zrážkou, mohol by v danom intervale svojím konaním predísť vstupu do koridor jazdy vozidla alebo urýchlene opustiť daný koridor.

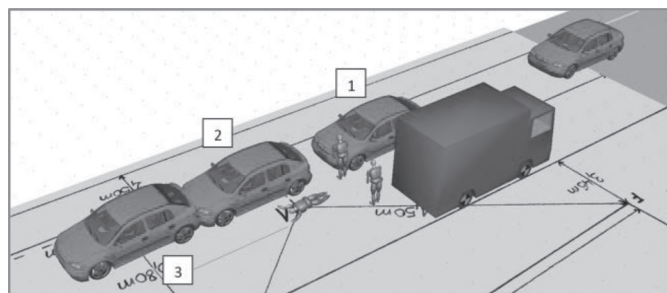
7. POĎAKOVANIE

Merania s vozidlom Volvo vznikli s podporou Ústavu soudního inženýrství VUT v Brně, Vehicle Safety Institute Technische Universität Graz a DSD Dr. Steffen Datentechnik. Chcel by som sa touto cestou poďakovať aj týmto partnerom.

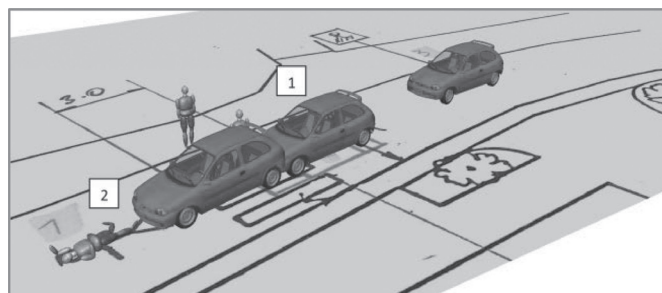
8. LITERATÚRA

- [1] VERTAL P., VÉMOLA A., SEMELA M.: Analýza vplyvu aktívnych bezpečnostných prvkov vozidiel na ochranu chodcov pri posudzovaní dopravných nehôd. *Soudní inženýrství*, 3/2014, Brno, 2014. ISSN 1211-443X
- [2] VERTAL P.: Popis evaluácie experimentálnej figuríny chodca určenej na merania aktívnych bezpečnostných systémov vozidiel. *Soudní inženýrství*, 2/2015, Brno 2015. ISSN 1211-443X
- [3] FRANKE U.: *Dynamic stereo vision for intersection assistance* F 2008-08-041.
- [4] <http://www.subaru.com> (13.10.2016)
- [5] *Technické podklady Subaru – EyeSight*, 2015.
- [6] Galéria autora.
- [7] SAITO T.: *Next generation driving assist system using new stereo camera*. Fuji Heavy Industries Ltd., FESITA 2008, Japan.

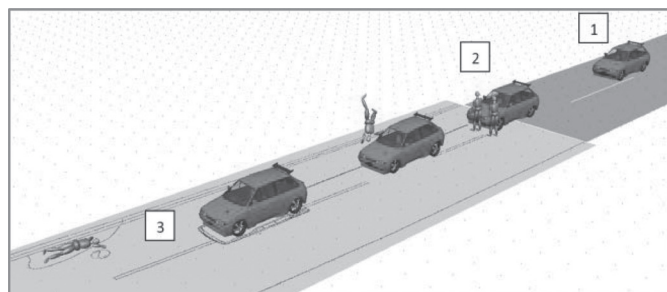
PRÍLOHA Č. 1 – VIZUALIZÁCIA PRÍPADOVÝCH ŠTÚDIÍ



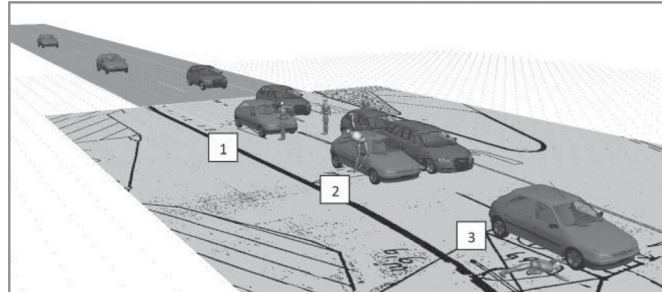
Prípadová štúdia č. 1 Poloha č. 1 zobrazuje reakciu vodiča, č. 2 nábeh brzdného účinku na vozidlo a č. 3 konečnú polohu vozidla a chodca. Z analýzy štúdie č. 1 vyplynulo, že vozidlo Opel Astra jazdilo pred zrážkou v priamom smere rýchlosťou cca 23 km/h. Chodec vstúpil spoza nákladného vozidla kolmo do jazdného koridoru vozidla z ľavej strany rýchlosťou cca 3,6 km/h.



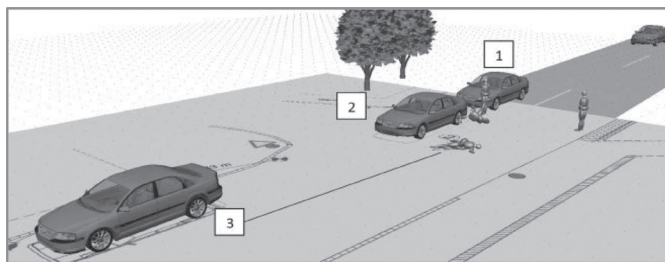
Prípadová štúdia č. 3 Poloha č. 1 zobrazuje reakciu vodiča, poloha č. 2 konečnú polohu vozidla a chodca. Z analýzy štúdie č. 3 vyplynulo, že vozidlo Opel Corsa jazdilo pred zrážkou v oblúku rýchlosťou cca 12 km/h. Chodec vstúpil kolmo do jazdného koridoru vozidla z pravej strany rýchlosťou cca 4,2 km/h. Vodič nereagoval pred zrážkou na pohyb chodca.



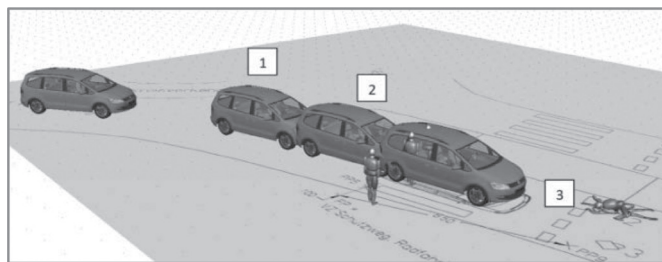
Prípadová štúdia č. 2 Poloha č. 1 zobrazuje reakciu vodiča, č. 2 nábeh brzdného účinku na vozidlo a č. 3 konečnú polohu vozidla a chodca. Z analýzy štúdie č. 2 vyplynulo, že vozidlo Citroen AX jazdilo pred zrážkou v priamom smere rýchlosťou cca 47 km/h. Chodec vstúpil kolmo do jazdného koridoru vozidla z ľavej strany rýchlosťou cca 3,6 km/h. Vodič reagoval cca 0,8 s pred zrážkou na pohyb chodca.



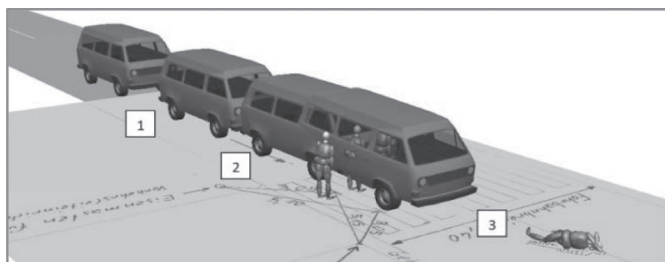
Prípadová štúdia č. 4 Poloha č. 1 zobrazuje reakciu vodiča, č. 2 nábeh brzdného účinku na vozidlo a č. 3 konečnú polohu vozidla a chodca. Z analýzy štúdie č. 4 vyplynulo, že vozidlo Peugeot 306 jazdilo pred zrážkou v priamom smere rýchlosťou cca 50 km/h. Chodec vstúpil kolmo do jazdného koridoru vozidla z ľavej strany spoza vozidla Audi. Vodič vozidla Audi zaregistroval chodca, pribrazil na rýchlosť cca 20 km/h a nechal priestor pre chodca, aby prešiel vozovkou. Chodec sa pohyboval rýchlosťou cca 4,2 km/h. Vodič vozidla Peugeot nereagoval pred zrážkou na pohyb chodca.



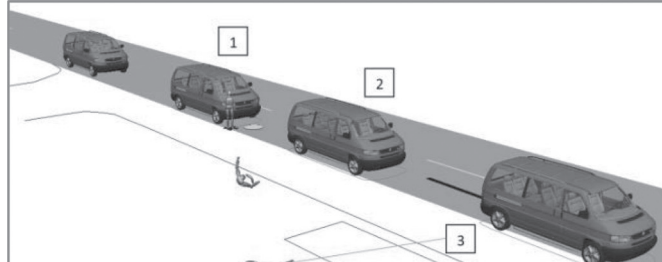
Prípadová štúdia č. 5 Poloha č. 1 zobrazuje reakciu vodiča, č. 2 nábeh brzdného účinku na vozidle a č. 3 konečnú polohu vozidla a chodca. Z analýzy štúdie č. 5 vyplynulo, že vozidlo Volvo S70 jazdilo pred zrážkou v priamom smere rýchlosťou cca 32 km/h. Chodec vstúpil kolmo do jazdného koridoru vozidla z ľavej strany rýchlosťou cca 5,0 km/h. Vodič vozidla nereagoval pred zrážkou na pohyb chodca a po zrážke začal reagovať cca 1,0 sekundu.



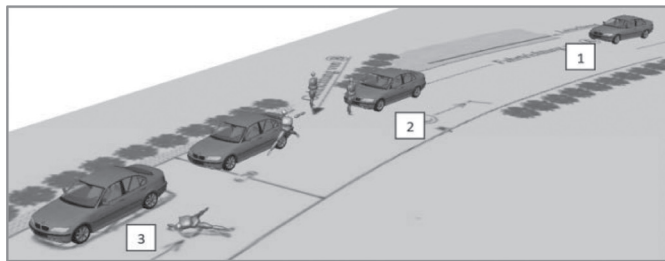
Prípadová štúdia č. 9 Poloha č. 1 zobrazuje reakciu vodiča, č. 2 nábeh brzdného účinku na vozidle a č. 3 konečnú polohu vozidla a chodca. Z analýzy štúdie č. 9 vyplynulo, že vozidlo VW Sharan jazdilo pred zrážkou po kruhovom objazde rýchlosťou cca 18 km/h. Chodec vstúpil kolmo do jazdného koridoru vozidla z ľavej strany. Vozidlo VW Sharan urobilo pred samotnou zrážkou vybočenie z kruhového objazdu doprava. Chodec sa pohyboval rýchlosťou cca 4,0 km/h. Vodič vozidla reagoval cca 0,8 s pred zrážkou na pohyb chodca.



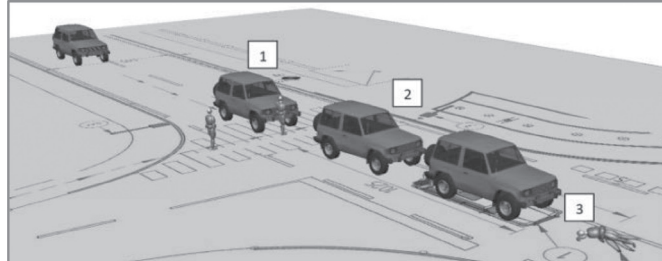
Prípadová štúdia č. 6 Poloha č. 1 zobrazuje reakciu vodiča, č. 2 nábeh brzdného účinku na vozidle a č. 3 konečnú polohu vozidla a chodca. Z analýzy štúdie č. 6 vyplynulo, že vozidlo Volkswagen Multivan jazdilo pred zrážkou v priamom smere rýchlosťou cca 30 km/h. Chodec vstúpil kolmo do jazdného koridoru vozidla z pravej strany rýchlosťou cca 4,0 km/h. Vodič vozidla reagoval cca 1,5 s pred zrážkou na pohyb chodca a stihol vozidlo spomaliť na rýchlosť cca 19 km/h.



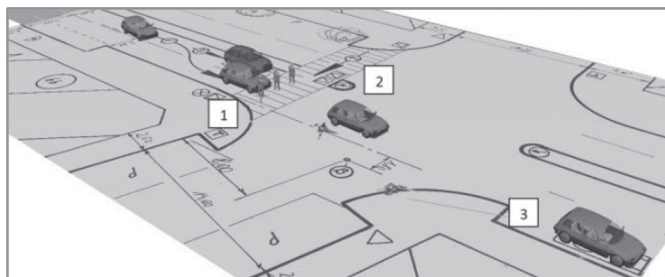
Prípadová štúdia č. 10 Poloha č. 1 zobrazuje reakciu vodiča, č. 2 nábeh brzdného účinku na vozidle a č. 3 konečnú polohu vozidla a chodca. Z analýzy štúdie č. 10 vyplynulo, že vozidlo VW 70D jazdilo pred zrážkou v priamom smere a znížovalo rýchlosť jazdy plynule z cca 70 km/h na cca 39 km/h. Chodec stál na pravom okraji vozovky v oblasti zastávky autobusu. Vodič vozidla nereagoval pred zrážkou na pohyb chodca.



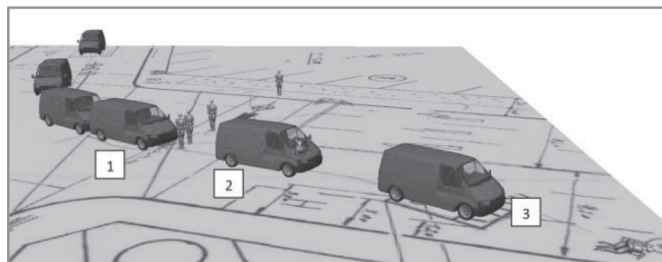
Prípadová štúdia č. 7 Poloha č. 1 zobrazuje reakciu vodiča, č. 2 nábeh brzdného účinku na vozidle a č. 3 konečnú polohu vozidla a chodca. Z analýzy štúdie č. 7 vyplynulo, že vozidlo BMW 3 jazdilo pred zrážkou v ľavotočivej zákrute cca 41 km/h. Chodec vstúpil kolmo do jazdného koridoru vozidla z pravej strany rýchlosťou cca 4,2 km/h. Vodič vozidla nereagoval pred zrážkou na pohyb chodca.



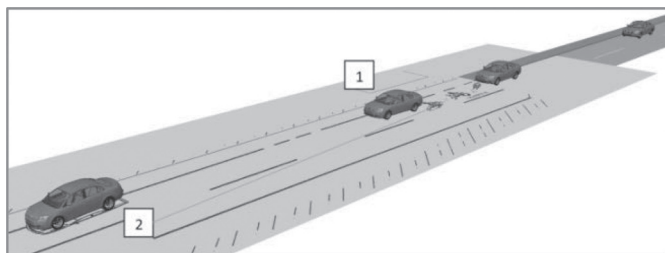
Prípadová štúdia č. 11 Poloha č. 1 zobrazuje reakciu vodiča, č. 2 nábeh brzdného účinku na vozidle a č. 3 konečnú polohu vozidla a chodca. Z analýzy štúdie č. 11 vyplynulo, že vozidlo Mitsubishi jazdilo pred zrážkou v priamom smere rýchlosťou cca 32 km/h. Chodec vstúpil kolmo do jazdného koridoru vozidla z ľavej strany rýchlosťou cca 5,2 km/h. Vodič vozidla nereagoval pred zrážkou na pohyb chodca.



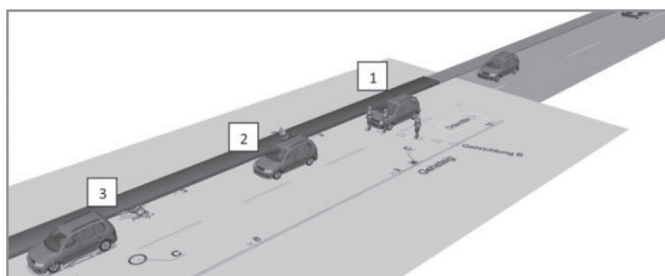
Prípadová štúdia č. 8 Poloha č. 1 zobrazuje reakciu vodiča, č. 2 nábeh brzdného účinku na vozidle a č. 3 konečnú polohu vozidla a chodca. Z analýzy štúdie č. 8 vyplynulo, že vozidlo Honda Civic jazdilo pred zrážkou priamo v ľavom jazdnom pruhu rýchlosťou cca 55 km/h. Chodec vstúpil kolmo do jazdného koridoru vozidla z ľavej strany spoza stojaceho vozidla. Vozidlo Honda urobilo pred samotnou zrážkou priečne premiestnenie z ľavého jazdného pruhu do pravého. Chodec sa pohyboval rýchlosťou cca 5,5 km/h. Vodič vozidla nereagoval pred zrážkou na pohyb chodca.



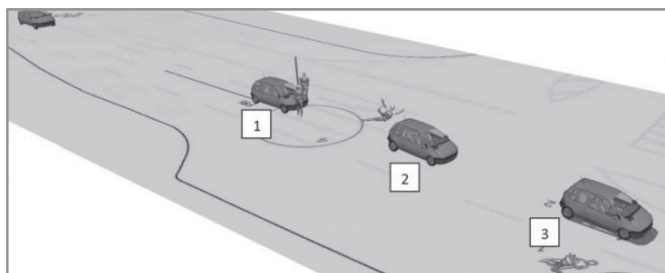
Prípadová štúdia č. 12 Poloha č. 1 zobrazuje reakciu vodiča, č. 2 nábeh brzdného účinku na vozidle a č. 3 konečnú polohu vozidla a chodca. Z analýzy štúdie č. 12 vyplynulo, že vozidlo Ford Transit jazdilo pred zrážkou v križovatke, kde odbočovalo doľava. Vozidlo zrýchľovalo z 0 km/h na rýchlosť v čase zrážky cca 36 km/h. Chodec vstúpil kolmo do jazdného koridoru vozidla z ľavej strany rýchlosťou cca 6,0 km/h. Vodič vozidla nereagoval pred zrážkou na pohyb chodca.



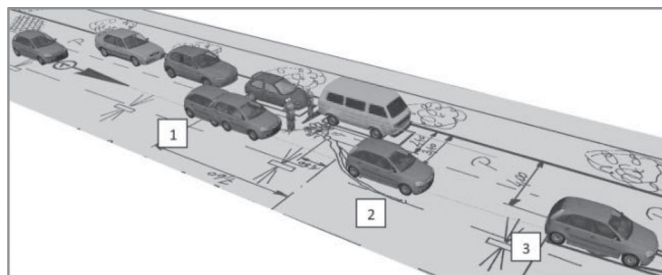
Prípadová štúdia č. 13 Poloha č. 1 zobrazuje reakciu vodiča, č. 2 konečnú polohu vozidla a chodca. Z analýzy štúdie č. 13 vyplynulo, že vozidlo Toyota Avensis jazdilo pred zrážkou v priamom smere rýchlosťou cca 45 km/h. Osoba ležala na vozovke nehybne. Kontakt osoby bol s podvozkovou časťou vozidla. Vodič vozidla nereagoval pred zrážkou na osobu ležiacu na vozovke.



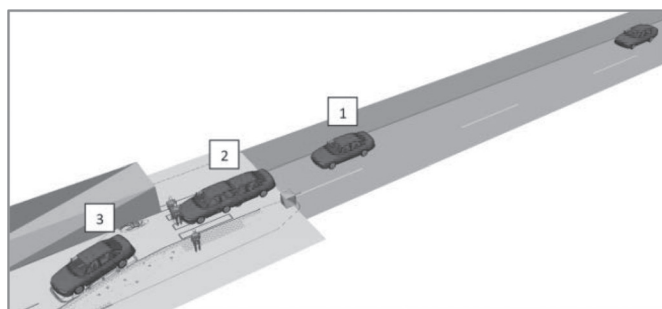
Prípadová štúdia č. 14 Poloha č. 1 zobrazuje reakciu vodiča, č. 2 nábeh brzdného účinku na vozidle, č. 3 konečnú polohu vozidla a chodca. Z analýzy štúdie č. 14 vyplynulo, že vozidlo Mazda Demio jazdilo pred zrážkou v priamom smere rýchlosťou cca 42 km/h. Chodec vstúpil do jazdného koridoru vozidla z ľavej strany pod uhlom cca 30° k rovine kolmej na smer pohybu vozidla rýchlosťou cca 3,0 km/h. Vodič vozidla nereagoval pred zrážkou na pohyb chodca.



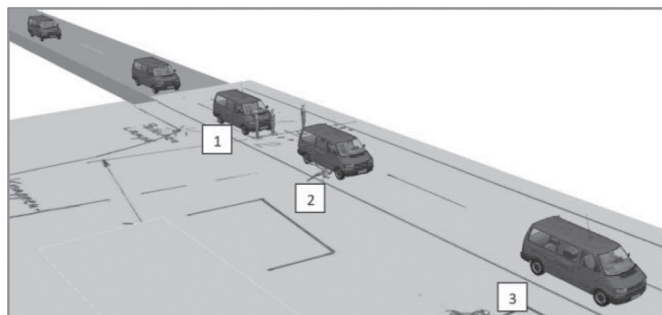
Prípadová štúdia č. 15 Poloha č. 1 zobrazuje reakciu vodiča, č. 2 nábeh brzdného účinku na vozidle a č. 3 konečnú polohu vozidla a chodca. Z analýzy štúdie č. 15 vyplynulo, že vozidlo Renault Twingo jazdilo pred zrážkou v priamom smere rýchlosťou cca 46 km/h. Chodec vstúpil do jazdného koridoru vozidla z ľavej strany pod uhlom cca 60° k rovine kolmej na smer pohybu vozidla rýchlosťou cca 4,0 km/h. Vodič vozidla nereagoval pred zrážkou na pohyb chodca.



Prípadová štúdia č. 16 Poloha č. 1 zobrazuje reakciu vodiča, č. 2 nábeh brzdného účinku na vozidle a č. 3 konečnú polohu vozidla a chodca. Z analýzy štúdie č. 16 vyplynulo, že vozidlo Opel Corsa jazdilo pred zrážkou v priamom smere rýchlosťou cca 39 km/h. Chodec vstúpil do jazdného koridoru vozidla z ľavej strany z rady stojacich osobných motorových vozidiel rýchlosťou cca 4,1 km/h. Vodič vozidla nereagoval pred zrážkou na pohyb chodca.



Prípadová štúdia č. 17 Poloha č. 1 zobrazuje reakciu vodiča, č. 2 nábeh brzdného účinku na vozidle a č. 3 konečnú polohu vozidla a chodca. Z analýzy štúdie č. 17 vyplynulo, že vozidlo VW Passat jazdilo pred zrážkou v priamom smere rýchlosťou cca 30 km/h. Chodec vstúpil do jazdného koridoru vozidla z ľavej strany rýchlosťou cca 3,0 km/h. Vodič vozidla reagoval cca 1,2s pred zrážkou na pohyb chodca.



Prípadová štúdia č. 18 Poloha č. 1 zobrazuje reakciu vodiča, č. 2 nábeh brzdného účinku na vozidle, č. 3 konečnú polohu vozidla a chodca. Z analýzy štúdie č. 18 vyplynulo, že vozidlo VW Transporter jazdilo pred zrážkou v priamom smere rýchlosťou cca 47 km/h. Chodec vstúpil do jazdného koridoru vozidla z ľavej strany pod uhlom cca 15° k rovine kolmej na smer pohybu vozidla rýchlosťou cca 3,8 km/h. Vodič vozidla nereagoval pred zrážkou na pohyb chodca.